

脱窒バイオカソードを利用した微生物燃料電池の特性

群馬大学大学院 学生会員 ○篠木 一真
 群馬大学大学院 学生会員 赤峰 康人
 群馬大学大学院 正会員 渡邊 智秀

1. はじめに

微生物燃料電池 (MFC) は直接的な電力生成と回収が可能で、これまでない排水処理プロセスへの発展が期待されている。そのカソードでは、酸素の還元反応が利用されており、この反応はとても遅いため、白金が触媒として利用されるが、コストや活性の劣化に大きな課題がある。これに対し、微生物反応を利用するバイオカソードは、微生物の自発的な増殖に伴い活性が容易かつ安価に維持される可能性がある。その際、カソード反応に、生物学的脱窒が適用可能であれば、カソードを排水処理へ直接利用することも期待される。このような MFC への脱窒バイオカソードの適用は、ごく最近試みられるようになったが、その詳細はほとんどわかっていない。本研究では、脱窒バイオカソードを用いた MFC におけるカソードへの植種源の影響ならびに電気的出力への影響因子を実験的に検討した。

2. 実験方法

実験はプロトン交換膜 (PEM) で隔てられた 2 槽式 MFC で行い、投影面積が 27cm^2 のカーボンペーパーを電極として、アノードとカソードの両槽へそれぞれ設置した。電極間に抵抗を接続した状態で、アノードには嫌気性消化汚泥、カソードには異なる炭素源で培養した脱窒汚泥をそれぞれ 100mg-SS/L となるように植種した。炭素源に酢酸を用いて培養した脱窒汚泥がカソードに植種された MFC (系 1) とメタノールを炭素源として培養した脱窒汚泥が植種された MFC (系 2) を設け、それらの電力生成への影響を比較した。

実験は回分方式で実施し、当初は電極への生物膜形成を促すため、各系のカソード槽へ植種と同じ炭素源で $\text{C/N}=2$ に調整した硝酸性窒素含有水を添加した。植種から 160h (系 1) および 380h (系 2) 経過してから、カソードへの有機性炭素の添加を停止した。アノードは一貫して初期濃度 500mg-C/L に調整した酢酸溶液を添加した。一方、カソードの初期硝酸性窒素濃度は、 $50\sim$

400mg-N/L の範囲で変化させた。なお、680h までは 50Ω 、それ以降は $1\text{k}\Omega$ の外部抵抗を電極間に接続し、電位差を PC でモニターした。また、酢酸および形態別窒素の測定をするとともに、定期的に分極や出力特性をポテンショスタットで測定した。

3. 結果と考察

3.1 スタートアップ期間での特性

スタートアップ期間における各 MFC の電流密度の経時変化を図 1 に示す。カソードに硝酸性窒素とともに有機物が添加されていた期間 (系 1 で 160h、系 2 で 380h まで) では、アノードでの有機物分解とカソードでの脱窒が進行しても電気的な出力はほとんど得られなかった。また、カソードへの有機物添加を停止し、さらに、外部抵抗を変更させても、しばらくは変化がなかった。その後、系 1 では 900h 経過してから 6 時間で急激に電流が発生し、以降は、槽の液交換に合わせた概ね一定の出力パターンが継続した。一方、系 2 は系 1 と出力が同等になるまでさらに 600h 要した。系 1 と系 2 ではアノードで酢酸、カソードで硝酸性窒素の減少が継続的に生じていた (図は割愛)。これらのことから、カソード反応に生物学的脱窒を利用した MFC で電力が安定的に得られる状態が形成可能であることが実証された。植種源の相違は発生電流までの期間に影響を及ぼしたものの、十分に長期間経過後には、分極曲

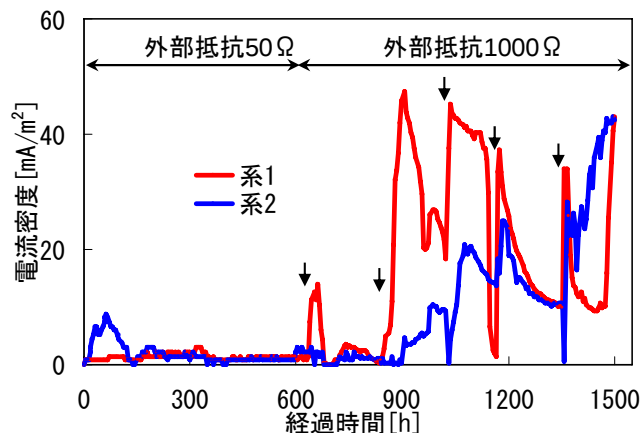


図 1 スタートアップ期間の電流密度の経時変化

キーワード 微生物燃料電池 バイオカソード 脱窒反応 電気産生微生物

連絡先 〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1 群馬大学大学院工学研究科社会環境デザイン工学専攻 TEL 0277-30-1631

線や電力曲線のような電氣的出力特性の点では、その差がほとんどなく、開回路電位差(OCV)は約 380mV であった。以上のことから、酢酸で培養した脱窒汚泥を用いると早期のスタートアップが可能であり、十分な時間が経過すると植種源の違いに関わらず、電氣的な出力の点からは違いは見られなかった。

3.2 硝酸性窒素の必要性

図 2 にカソードへの硝酸性窒素添加の有無による電流密度の経時変化の例を示す。図からわかるように、硝酸性窒素がカソードに存在しないと電流がほとんど発生しなかった。一方、硝酸性窒素がカソードに添加されると直ちに電流が生成し、それに伴い、硝酸性窒素が減少した。つまり、本系では、カソードで脱窒反応が進行することで電力が得られることが確認された。

3.3 初期硝酸性窒素の濃度の影響

カソードの初期硝酸性窒素濃度を変えた際の電流密度の最大値(1k Ω)の関係を図 3 に示す。50~400mg-N/L の範囲で、その増大に伴い、概ね比例的に電流密度も増大する傾向がわかる。図 4 に初期硝酸性窒素を 50 から 400mg-N/L まで増大させた時に得られた電流密度の最大値、カソードでの硝酸性窒素減少速度、アノードでの酢酸減少速度の増加割合を示す。電流密度は約 1.7 倍上昇した。しかしながら、硝酸性窒素減少速度は約 5 倍、酢酸減少速度は 2.2 倍増大しており、特に硝酸性窒素減少速度と電流密度の増加割合に大きな差が認められた。つまり、みかけの反応速度は増加したものの、それに対応した電流密度が必ずしも得られていないことになる。これは初期濃度への依存性が高い別の因子が強く影響していると考えられ、その 1 つとして、PEM を介しての硝酸性窒素や酢酸の透過の可能性を検討した。実験は MFC を無生物の状態にし、カソードに所定濃度の硝酸性窒素を添加し、カソードとアノード室での経時変化を測定した。また、アノードへ酢酸を添加して、同様の実験を行った。その結果、アノードからカソードへの透過はほとんどなかったが、カソードからアノードへ硝酸性窒素が透過し、その速度が両室の濃度差に強く依存していることがわかった。従って、本系ではカソードからアノードへ一部の硝酸性窒素が透過してアノード内で脱窒されていると考えられ、このことが、増加割合に大きな差が見られた原因であると示唆された。またアノードが脱窒環境になり、嫌気性の電気産生微生物の生息状況や活性に影響を及ぼし

ていると推察される。これを踏まえ、硝酸性窒素の透過速度が小さい PEM を MFC に付け替えると、電流密度が維持されたまま、減少速度は大きく低減し、それに伴い酢酸減少速度も低下した。さらに出力が長期間維持される傾向が認められた。脱窒バイオカソードを用いた MFC では、硝酸性窒素の透過を低減できる PEM の利用が性能向上に重要であることが示唆された。

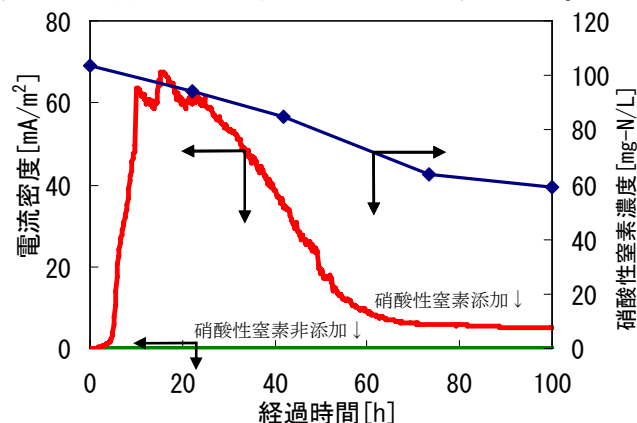


図 2 硝酸性窒素添加の有無による電流密度の経時変化

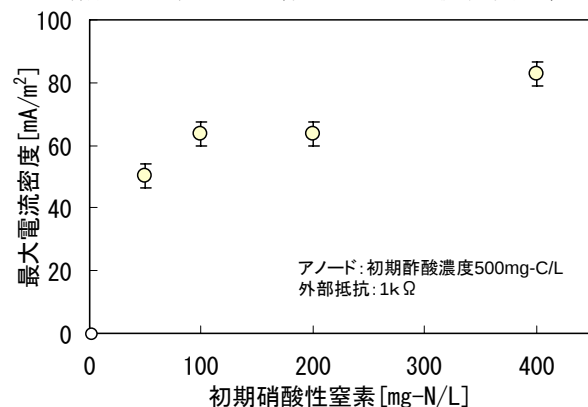


図 3 初期硝酸性窒素の濃度変化に伴う最大電流密度

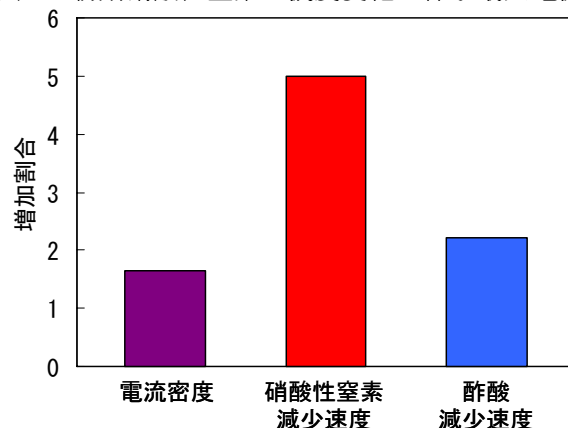


図 4 初期硝酸性窒素の増加に伴う増加割合

4. まとめ

脱窒バイオカソードを組み込んだ MFC において、カソードで硝酸性窒素が電子受容体として作用することで、安定的に電力生成が可能であることが実証された。出力はカソードの硝酸性窒素濃度に依存し、PEM を介しての硝酸性窒素の透過が強く影響し、その低減が可能な材料を用いる必要性が示唆された。